



#41 Priority
5/14/02
C. Davis

JC714 U.S. PTO
10/067427



02/05/02

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 101 06 221.4
Anmeldetag: 10. Februar 2001
Anmelder/Inhaber: Philips Corporate Intellectual Property GmbH,
Hamburg/DE
Bezeichnung: Röntgendetektor mit großem Dynamikbereich
IPC: G 01 T, H 05 G, H 04 N

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 04. Oktober 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Hiebinger

ZUSAMMENFASSUNG

Röntgendetektor mit großem Dynamikbereich

Die Erfindung betrifft einen Röntgendetektor enthaltend mindestens eine Konversions-
einheit (1) zur Umwandlung von absorbierten Röntgenquanten in elektrische Ladungs-
5 signale, mindestens eine Auswerteeinheit (10) zur Verstärkung und Weiterverarbeitung der
Ladungssignale, sowie mindestens eine Datenverarbeitungseinheit (11) zur Datenerfassung,
-weiterverarbeitung und -ausgabe. In der Auswerteeinheit (10) werden die Ladungssignale
zunächst von einem Eingangsverstärker (2) verstärkt und dann parallel in einem
Zählkanal (5) sowie in einem Integratorkanal (7) ausgewertet. Im Zählkanal findet dabei
10 eine Zählung der Ladungssignale statt, während im Integratorkanal die gesamte Ladung als
Maß für die in der Konversionseinheit (1) abgegebene Energie integriert wird. Durch die
parallele Bereitstellung der Zählergebnisse und der Integrationsergebnisse können diese
jeweils in ihrem messtechnisch optimalen Bereich des Quantenflusses mit größerem
Gewicht berücksichtigt werden, so dass sich der Dynamikbereich des Röntgendetektors
15 erweitert. Weiterhin können aus der Kombination der Signale zusätzliche Informationen
wie etwa die mittlere Absorptionsenergie der Röntgenquanten bestimmt werden.

Fig.

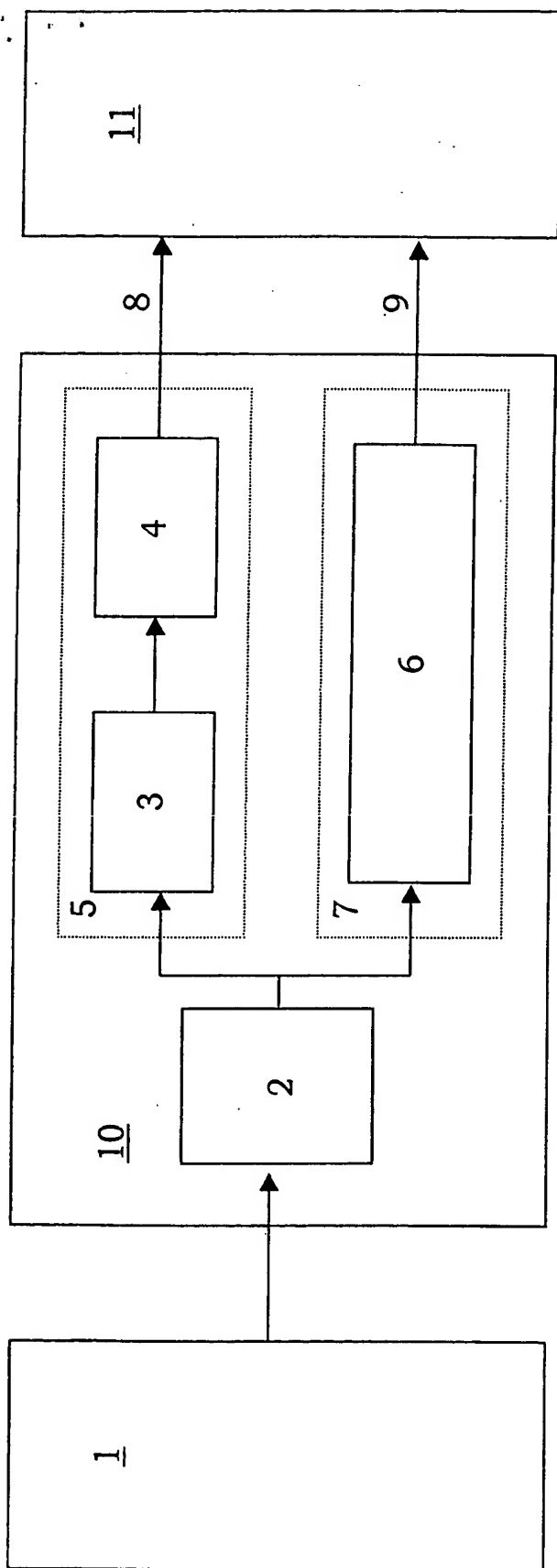


FIG.

BESCHREIBUNG

Röntgendetektor mit großem Dynamikbereich

Die Erfindung betrifft einen Röntgendetektor enthaltend mindestens eine Konversionseinheit, mindestens eine Auswerteeinheit zum Zählen und zur Integration von absorbierten Röntgenquanten sowie mindestens eine Datenverarbeitungseinheit. Ferner betrifft sie ein Verfahren zur Auswertung der Absorptionssignale eines Röntgendetektors, welcher vorzugsweise in einem Computertomographen gegenüber einer Röntgenstrahlungsquelle angeordnet ist und eine Röntgenuntersuchungsgerät mit einer Röntgenstrahlungsquelle zur Abgabe von Röntgenstrahlung und einem Röntgendetektor

10

In Röntgendetektoren und Röntgen-Bilderzeugungssystemen werden absorbierte Röntgenquanten in elektrische Ladungssignale umgewandelt. Derartige Röntgendetektoren werden zum Beispiel im medizinischen Bereich in der Computertomographie (CT) verwendet. Weitere Anwendungen von Röntgendetektoren liegen der Industrie (zum Beispiel Werkstoffprüfung) oder in der Sicherheitstechnik. Üblicherweise bestehen (dynamische) Röntgendetektoren dabei aus

15

- a) einer Konversionseinheit oder -stufe, die einen großen Teil der eintreffenden Röntgenquanten absorbiert und in elektrische Ladungssignale umwandelt,
- b) einer Auswerteeinheit oder -stufe, in der die Signale der Konversionseinheit verstärkt und weiterverarbeitet werden, sowie
- c) einer Datenverarbeitungseinheit oder -stufe mit Mitteln zur Datenerfassung, zur Steuerung und zur Ausgabe der erfassten Signale.

20

25

In der Auswerteeinheit werden üblicherweise zwei verschiedene Verarbeitungskonzepte angewendet. So gibt es zum einen integrierende Auswerteeinheiten, wie sie zum Beispiel in der EP 434 154 oder der EP 440 282 beschrieben werden. Bei diesen Einheiten werden die von der Konversionseinheit bereitgestellten Ladungssignale über einen vorgegebenen Zeitraum, die sog. Integrationsperiode, integriert. Das Ergebnis dieser Integration stellt dann idealerweise die während der Integrationsperiode in der Konversionseinheit von den

30

absorbierten Röntgenquanten deponierte Energie dar.

Daneben gibt es ferner das Konzept der zählenden Auswerteeinheiten (vgl. P. Fischer et al., "A counting pixel readout chip for imaging applications", Nucl. Instr. and Meth. A 405 (1998) 53-59). Dabei werden die von einzelnen Röntgenquanten in der Konversionseinheit erzeugten Ladungspulse einzeln erfasst und gezählt. Üblicherweise verwendet man hierzu einen signalformenden Verstärker mit nachgeschaltetem Komparator, dessen digitale Ausgangsimpulse dann von einem Zähler gezählt werden. Idealerweise entspricht die so bestimmte Zahl der in einer Zählperiode registrierten Ladungspulse gerade der Anzahl der in dieser Zeit in der Konversionseinheit absorbierten Röntgenquanten. Der Vorteil der Zählmethode liegt darin, dass ein sehr großer Zählbereich mit im Prinzip idealer Linearität abgedeckt werden kann. Der Zählbereich ist dabei im Prinzip nur durch die Tiefe des verwendeten Zählers begrenzt. Problematisch bei der Methode ist jedoch, dass die erreichbaren Zählraten (das heißt Zählimpulse pro Zeit) durch verschiedene Totzeiteffekte, in denen keine Signale registriert werden können, sowie durch eine begrenzte Bandbreite der analogen Elektronik beschränkt sind.

Im Gegensatz hierzu erlaubt die Integrationsmethode auch einen Betrieb bei sehr hohen Quantenflüssen. Sie ist jedoch in Bezug auf den nutzbaren Dynamikbereich und die Linearität eher begrenzt. Bei der Integrationsmethode ist ferner bekannt, dass durch verschiedene Nachbildeffekte Reste vorhergehender Röntgenaufnahmen auch in nachfolgenden Bildern noch vorhanden sein können. Ein Beispiel ist das von vielen Szintillatoren bekannte Nachleuchten ("afterglow"). Zählende Detektoren sind von solchen Nachbildeffekten im Allgemeinen weniger betroffen, da die Nachbildeffekte normalerweise nicht zu signifikanten kurzzeitigen Ladungspulsen führen und somit die Zählergebnisse nicht verfälschen.

Weiterhin ist aus der US 4 591 984 ein Röntgendetektor bekannt, bei welchem die Ladungssignale aus einer Konversionseinheit alternativ einer Zählung oder einer Integration unterworfen werden können. Für die Zählung werden sie über einen Pulshöhenanalysator geleitet, dessen Ausgang nur bei Überschreiten eines Schwellwertes durch das Ladungssignal aktiviert wird. Die Häufigkeit solcher Aktivierungen des Ausganges können

dann von einem Zähler gezählt werden. Alternativ können die Ladungssignale auch über einen Tiefpassfilter in eine Integrationsschaltung geleitet werden, wo die Ladungen über einen wählbaren Zeitraum in einem Kondensator angesammelt werden. Wenn eine Auswertung des Integrationsergebnisses erfolgen soll, wird der Kondensator mit einem

5 Konstantstrom entladen. Solange die Spannung des Kondensators dabei oberhalb einer Referenzspannung bleibt, werden die Impulse eines externen Taktsignals dem oben erwähnten Zähler zugeführt und dort gezählt. Je größer die im Kondensator angesammelte Ladung ist, desto länger dauert der Entladungsvorgang und desto länger bleibt dementsprechend die Spannung des Kondensators oberhalb der Referenzspannung. Dies führt

10 wiederum dazu, dass entsprechend mehr Takte des Taktsignals vom Zähler gezählt werden.

Mit dem aus der US 4 591 984 bekannten Röntgendetektor können durch Umlegen eines Schalters wahlweise die Ausgangsimpulse des Pulshöhenanalysators oder die durchgelassenen Impulse des externen Taktsignals dem Zähler zugeführt werden. Je nach

15 Stellung des Schalters findet somit ein Zählen der absorbierten Röntgenquanten oder eine Messung der absorbierten Strahlungsenergie statt. Da die Zählmethode bei geringeren Quantenflüssen und die Integrationsmethode bei höheren Quantenflüssen präziser ist, kann durch eine entsprechende Schalterstellung die jeweils bessere Messmethode zum Einsatz kommen. Dabei ist vom Anwender vorher einzuschätzen, welche Quantenflüsse zu

20 erwarten sind, so dass er die Schalterstellung entsprechend wählen kann. Dies ist jedoch nachteilig, da es ein Vorwissen über die beste einzusetzende Methode erfordert. Wenn die Einstellung des Schalters falsch vorgenommen wird, kann das Ergebnis eines Röntgenvorganges nicht mit der optimalen Methode ausgewertet werden. Unter Umständen muss dann der Röntgenvorgang wiederholt werden, was insbesondere bei medizinischen

25 Anwendungen aufgrund der damit verbundenen Strahlenbelastung für den Patienten unbedingt vermieden werden sollte.

Vor diesem Hintergrund war es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen verbesserten Röntgendetektor, ein Verfahren zur Auswertung der Signale eines Röntgendetektors und

30 ein Röntgenuntersuchungsgerät mit einem Röntgendetektor bereitzustellen, mit denen eine optimale Messung in einem großen Dynamikbereich ohne Voreinstellungen durch einen Anwender möglich ist.

Diese Aufgabe wird durch einen Röntgendetektor mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 8 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen enthalten.

5 Der erfindungsgemäße Röntgendetektor enthält die folgenden Elemente:

- a) mindestens eine Konversionseinheit, in welcher Röntgenquanten absorbiert werden und dabei ein elektrisches Ladungssignal erzeugen, dessen Größe mit der absorbierten Energie korrespondiert,
- 10 b) mindestens eine Auswerteeinheit, in der das genannte Ladungssignal der Konversionseinheit parallel in einem Zählkanal und in einem Integrator kanal verarbeitet wird, wobei der Zählkanal an seinem Zählerausgang ein Maß für die Anzahl der seit einem Messbeginn erfassten Ladungssignale bereitstellt, und wobei
15 der Integrator kanal an seinem Integratorausgang ein Maß für die gesamte Ladung der seit einem Messbeginn erfassten Ladungssignale bereitstellt; der Messbeginn für den Zählkanal ist dabei vorzugsweise identisch mit dem Messbeginn für den Integrator kanal, was jedoch nicht unbedingt der Fall sein muss;
- 20 c) mindestens eine Datenverarbeitungseinheit, welche die Signale des Zählerausgangs und des Integratorausgangs in Kombination verarbeitet, um die absorbierte Menge an Röntgenstrahlung zu bestimmen.

Bei dem Röntgendetektor werden demnach in der Auswerteeinheit parallel ein Zähl-
25 verfahren und ein Integrationsverfahren für die erzeugten Ladungssignale durchgeführt, wobei die Ergebnisse dieser Verfahren in der Datenverarbeitungseinheit gemeinsam verwendet und zur Bestimmung eines Gesamtergebnisses für die absorbierte Menge an Röntgenstrahlung genutzt werden. Die absorbierte "Menge an Röntgenstrahlung" kann dabei sowohl als absorbierte Energie pro Zeit als auch als Anzahl absorbierter Röntgen-
30 quanten pro Zeit oder als eine geeignet definierte kombinierte Größe quantifiziert werden. Die gleichzeitige Durchführung zweier Messmethoden (Zählen und Integration) hat den Vorteil, dass der Anwender nicht vorab festlegen muss, welche Methode allein durch-

zuführen ist, so dass es nicht versehentlich zu einer suboptimalen Auswertung der Messergebnisse kommen kann. Der erfindungsgemäße Röntgendetektor arbeitet somit gegenüber bekannten Detektoren in einem erheblich vergrößerten Dynamikbereich. Dies ist insbesondere bei medizinischen Anwendungen wichtig, wo die Röntgenbelastung zu
5 minimieren ist, sowie bei solchen Anwendungen, wo eine Voreinschätzung der zu erwartenden Quantenflüsse nicht möglich oder zu umständlich ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung des Röntgendetektors ist die Datenverarbeitungseinheit so eingerichtet, dass sie bei geringer Absorptionsrate der Röntgenquanten die
10 Signale des Zählerausganges mit größerem Gewicht berücksichtigt als die Signale des Integratorausganges. Im Extremfall kann die Gewichtung dabei so stark verschoben werden, dass die Menge an Röntgenstrahlung allein aus den Signalen des Zählerausganges bestimmt wird. Bei geringen Absorptionsraten beziehungsweise niedrigen Quantenflüssen arbeitet das Zählverfahren optimal, da dann Totzeiteffekte und geringe Bandbreiten keine Rolle
15 spielen. Elektronisches Rauschen, Dunkelströme und Nachbildeffekte werden durch die Detektion einzelner Ladungssignale stark unterdrückt. Im Gegensatz hierzu arbeitet das Integrationsverfahren bei geringen Quantenflüssen durch das elektronische Rauschen, durch Dunkelströme und durch mögliche Nachbildeffekte verhältnismäßig ungenau. Die vorgeschlagene höhere Gewichtung des Zählverfahrens bei geringen Absorptionsraten
20 berücksichtigt dieses typische Verhalten der Messverfahren und führt durch die stärkere Berücksichtigung des präziseren Zählverfahrens somit zu besseren Endergebnissen.

Weiterhin kann die Datenverarbeitungseinheit so eingerichtet sein, dass sie bei hoher Absorptionsrate der Röntgenquanten die Signale des Integratorausganges mit größerem
25 Gewicht berücksichtigt als die Signale des Zählerausganges. Im Extremfall kann auch hier die absorbierte Menge an Röntgenstrahlung allein aus den Signalen des Integratorausganges bestimmt werden. Bei hohen Absorptionsraten beziehungsweise Quantenflüssen arbeitet der Integrator kanal optimal, da elektronisches Rauschen, Dunkelströme und Nachbildeffekte praktisch keine Rolle spielen. Im Gegensatz dazu ist der Zählkanal durch
30 Totzeiteffekte in seiner Genauigkeit stark beeinträchtigt. Auch hier berücksichtigt somit die Datenverarbeitungseinheit das charakteristische Verhalten der beiden Messkanäle bei der Bestimmung des Gesamtergebnisses derart, dass diese entsprechend ihrer Präzision

gewichtet werden. Damit lässt sich insgesamt ein besseres Endergebnis für die Menge der absorbierten Röntgenstrahlung erzielen, als es bei Verwendung eines einzigen Zählverfahrens möglich wäre.

- 5 Gemäß einer anderen Weiterbildung der Erfindung ist die Datenverarbeitungseinheit so eingerichtet, dass sie aus den Signalen des Zählerausganges und den Signalen des Integratorausganges die mittlere Energie der absorbierten Röntgenquanten bestimmt. Typischerweise werden hierzu in einem Messintervall die absorbierten Röntgenquanten gezählt und die dabei absorbierten Energien integriert. Am Ende des Messintervalls wird
- 10 dann die gesamte absorbierte Energie durch die Anzahl der absorbierten Röntgenquanten dividiert, um die mittlere Energie pro Röntgenquant zu erhalten. Diese mittlere von den Röntgenquanten deponierte Energie beinhaltet eine wertvolle Information, die mit einem Messverfahren allein (Zählung oder Integration) nicht gewonnen werden könnte.
- 15 Der Aufbau der Auswerteeinheit ist vorzugsweise so, dass sie einen Eingangsverstärker aufweist, welcher das von der Konversionseinheit bereitgestellte Ladungssignal vorverarbeitet. Die Vorverarbeitung kann insbesondere in einer entsprechenden Verstärkung dieses Signals bestehen. Ferner kann das Ladungssignal in eine andere Signalart wie z.B. ein Spannungssignal umgewandelt werden, welche sich besser für eine Verteilung an mehrere
- 20 Kanäle eignet. Das vorverarbeitete Signal wird vom Eingangsverstärker sowohl an den Zählkanal als auch an den Integratorkanal weitergeleitet. Bei diesem Aufbau wird somit in vorteilhafter Weise ein einziger Eingangsverstärker dazu verwendet, die Signale sowohl für den Zählkanal als auch für den Integratorkanal aufzubereiten. Eine nur schwer zu steuernde Aufteilung der von der Konversionseinheit bereitgestellten, in der Regel geringen
- 25 Ladungsmengen auf zwei Kanäle kann hierdurch vermieden werden. Die gemeinsame Nutzung eines Eingangsverstärkers verringert darüber hinaus den konstruktiven Aufwand und garantiert gleichzeitig, dass keine Artefakte durch unterschiedliches Verhalten der Eingangsverstärkungen zu den Messkanälen entstehen.
- 30 Bei dem Röntgendetektor kann es sich um ein einzelnes Bildelement mit nur einer Konversionseinheit, einer Auswerteeinheit und einer Datenverarbeitungseinheit handeln. Vorzugsweise enthält der Röntgendetektor jedoch mehrere Konversionseinheiten, die in

einer Fläche verteilt angeordnet sind. Insbesondere kann diese Anordnung matrixartig sein, wobei die mehreren Konversionseinheiten in Spalten und Zeilen angeordnet sind und jede der Konversionseinheiten ein Bildelement (Pixel) einer Röntgendetektor-Anordnung bildet.

- 5 Bei einer solchen Röntgendetektor-Anordnung mit mehreren Konversionseinheiten ist vorzugsweise jeder Konversionseinheit genau eine Auswerteeinheit und genau eine Datenverarbeitungseinheit zugeordnet, damit die von der Konversionseinheit als Bildelement erzeugten Ladungssignale schnell und zuverlässig ausgewertet werden können. Ferner sind vorteilhafterweise alle Auswerteeinheiten und Datenverarbeitungseinheiten mikro-
- 10 elektronisch auf einem gemeinsamen Substrat ausgebildet und von dort mit den Konversionseinheiten elektrisch verbunden. Die Konversionseinheiten können dabei z.B. oberhalb der elektronischen Einheiten auf dem Substrat angeordnet sein. Für die Herstellung der mikroelektronischen Strukturen kann insbesondere eine CMOS Technik eingesetzt werden.

15

- Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Auswertung der Absorptionssignale eines Röntgendetektors, welcher vorzugsweise in einem Computertomographen gegenüber einer Röntgenquelle angeordnet ist. Mit dem Röntgendetektor wird dabei typischerweise bestimmt, wieviel Röntgenstrahlung von einem zwischen der Röntgenstrahlungsquelle und
- 20 dem Detektor angeordneten Untersuchungsgegenstand, zum Beispiel dem Körper eines Patienten, absorbiert wird. Das Verfahren enthält die folgenden Schritte:

- a) Zählen der in einem Zeitintervall vom Röntgendetektor absorbierten Röntgenquanten;
- 25 b) Integration der Absorptionsenergien der in dem genannten Zeitintervall absorbierten Röntgenquanten zur Bestimmung der gesamten im Röntgendetektor deponierten Energie,
- 30 c) Bestimmung der mittleren Absorptionsenergie der in dem genannten Zeitintervall absorbierten Röntgenquanten aus den Messungen der Schritte a) und b),

- d) Vergleich der mittleren Absorptionsenergie aus Schritt c) mit dem ursprünglichen Emissionsspektrum der Röntgenstrahlungsquelle.

Im Unterschied zu herkömmlichen Verfahren wird bei dem neuen Verfahren an der Ausgangsseite des Röntgendetektors sowohl die Anzahl der absorbierten Röntgenquanten als auch die insgesamt von diesen deponierte Energie bestimmt. Aus diesen beiden Werten kann dann die mittlere Absorptionsenergie pro Röntgenquant als der Quotient aus dem Integral der Absorptionsenergien und der Anzahl der Röntgenquanten berechnet werden. Durch Vergleich dieser mittleren Absorptionsenergie mit dem als bekannt vorausgesetzten Emissionsspektrum der Röntgenstrahlungsquelle können wertvolle Informationen über das von der Wellenlänge abhängige Absorptionsverhalten des untersuchten Gegenstandes gewonnen werden. So absorbiert das Körpergewebe eines Patienten zum Beispiel Röntgenquanten niedrigerer Energie stärker als Röntgenquanten höherer Energie. Eine solche verstärkte Absorption niederenergetischer Röntgenquanten macht sich in einer Erhöhung der mittleren Röntgenquantenenergie nach Durchgang durch den Körper des Patienten bemerkbar, was als "Strahlaufhärtung" bezeichnet wird. Diese Strahlaufhärtung fällt je nach Art des durchstrahlten Gewebes unterschiedlich aus, so dass sie eine zusätzliche Information über das Gewebe liefert. Im Extremfall ist es denkbar, dass zwei durchstrahlte Objekte jeweils den gleichen Prozentsatz der insgesamt eingestrahlt Energie und/oder den gleichen Prozentsatz der Anzahl der eingestrahlt Röntgenquanten absorbieren und daher durch eine reine Feststellung der absorbierten Energie beziehungsweise der absorbierten Anzahl an Röntgenquanten nicht unterscheidbar sind. Wenn diese zwei Objekte jedoch die Röntgenquanten bei unterschiedlichen Wellenlängen verschieden stark absorbieren, führen sie zu einer unterschiedlichen Strahlaufhärtung, welche mit dem erfindungsgemäßen Verfahren nachgewiesen werden kann. Durch die vorgeschlagene Kombination eines Zählverfahrens und eines Integrationsverfahrens kann somit eine Information gewonnen werden, die bei separater Anwendung der Verfahren nicht verfügbar ist.

Durch ein entsprechend kurz gewähltes Zeitintervall für die Durchführung des Zählens und der Integration bei dem vorgeschlagenen Verfahren ist es theoretisch möglich, die Energie jedes einzelnen absorbierten Röntgenquants zu bestimmen, woraus wiederum das

Energiespektrum der Röntgenstrahlung nach Durchtritt durch den zu untersuchenden Gegenstand bestimmbar ist. Mit anderen Worten kann durch die Länge des Zeitintervalls beeinflusst werden, mit welcher Auflösung das Energiespektrum der Röntgenstrahlung nach Durchtritt bestimmt wird.

5

Für die Durchführung des Verfahrens eignet sich insbesondere ein Röntgendetektor der oben erläuterten Art, bei dem eine Auswerteeinheit Ladungssignale einer Konversionseinheit parallel durch einen Zählkanal und einen Integratorkanal verarbeitet.

- 10 Im Folgenden wird die Erfindung mit Hilfe der Figur beispielhaft erläutert. Die einzige Figur zeigt in einem Blockschaltbild die Komponenten eines erfindungsgemäßen Röntgendetektors.

- In der Konversionseinheit 1 werden die Röntgenquanten größtenteils absorbiert und nach
15 ihrer Absorption in ein elektrisches Ladungssignal umgewandelt, dessen Größe in etwa proportional zur absorbierten Energie ist. Dabei spielt es vorliegend keine Rolle, ob die Umwandlung der Röntgenquanten in die Ladungssignale direkt (mittels sogenannter direktkonvertierender Materialien, z.B. Gasen wie Xe, Halbleitern wie GaAs, CdTe, CdZnTe, oder Fotoleitern wie Se, PbI₂ oder PbO) oder indirekt erfolgt (zum Beispiel
20 durch Umwandlung in niederenergetische Lichtquanten mittels eines szintillierenden Materials und anschließende Detektion durch eine Fotodiode aus kristallinem oder amorphem Silicium).

- Die von der Konversionseinheit 1 erzeugten Ladungssignale werden dann dem Eingangs-
25 verstärker 2 der Auswerteeinheit 10 zugeführt. Die Auswerteeinheit ist typischerweise als integrierte Schaltung realisiert, zum Beispiel als CMOS-Schaltkreis. In der Auswerteeinheit werden die Ladungssignale vom Eingangsverstärker 2 in ein anderes Signal (zum Beispiel Spannungssignal) umgewandelt. Der Eingangsverstärker ist in der Regel ein ladungs-empfindlicher Verstärker ("charge sensitive amplifier" CSA), typischerweise eine Integra-
30 torschaltung, die häufig einen Entladewiderstand ("bleeding resistor") aufweist. Ein solcher Verstärker erzeugt für jeden kurzzeitigen Ladungspuls am Eingang eine exponentiell abfallende Spannung am Ausgang, wobei die Fläche unter dieser Exponentialkurve proportional zur Ladung innerhalb des Pulses ist.

An der Ausgangsseite des Eingangsverstärkers 2 sind parallel ein Zählkanal 5 und ein Integratorkanal 7 angeschlossen. Der Zählkanal besteht aus einem Ereignis-Diskriminator 3, dem ein Zähler 4 folgt. Der Ereignis-Diskriminator 3 besteht typischerweise aus einem signalformenden Verstärker ("shaping amplifier") und einem Komparator mit

5 einstellbarem Schwellwert. Aufgabe des Ereignis-Diskriminators 3 ist es, für jeden Ladungspuls von der Konversionseinheit 1, der eine vorgegebene Ladungsmenge übersteigt, ein digitales Ausgangssignal (Zählpuls) zu erzeugen (vgl. Figur 1 aus M. Overdick et al., "A 'Bioscope' system using double-sided silicon strip detectors and self-triggering read-out chips", Nucl. Instr. and Meth. A 392 (1997) 173-177). Bei dem

10 Zähler 4 handelt es sich um einen elektronischen Digitalzähler mit n-Bit Zähltiefe. Eine besonders platzsparende Variante sind lineare rückgekoppelte Schieberegister (vgl. P. Fischer et al., a.a.O).

Der Integratorkanal besteht aus einer Schaltung, die als "Gesamtsignal-Erfasser" 6

15 bezeichnet werden kann und die die gesamte während einer Integrationsperiode von der Konversionseinheit 1 gelieferte Ladungsmenge erfasst. Für seine Realisierung gibt es unter anderem die folgenden Möglichkeiten:

- Integratorschaltung mit analogem Ausgang;
- Spannungs-Frequenzwandler mit nachgeschaltetem Zähler (vgl. DE 199 45 757.3);

20 - Delta-Sigma-Konverter (vgl. S.R. Norsworthy, R. Schreier, G.C. Temes, "Delta-Sigma Data Converters", IEEE Press, 1997).

Der Stand des Zählers 4 wird am Zählerausgang 8 an die Datenverarbeitungseinheit 11 weitergegeben. In ähnlicher Weise wird das Ergebnis der Integration am Integrator-

25 ausgang 9 der Datenverarbeitung übermittelt. In der Datenverarbeitungseinheit 11 können somit sowohl die Ergebnisse des Zählkanals 5 als auch des Integratorkanals 7 parallel ausgewertet werden. Hierdurch ergibt sich ein gegenüber dem Stand der Technik vergrößerter Dynamikbereich des Röntgendetektors, da bei niedrigen Quantenflüssen auf die präziseren Ergebnisse des Zählkanals zurückgegriffen werden kann, während bei hohen

30 Quantenflüssen der dann genauere Integratorkanal bevorzugt wird. Durch die gleichzeitige zählende als auch integrierende Erfassung der Signale in jeder Pixelzelle eines Röntgendetektors können daher die Vorteile der beiden Messmethoden kombiniert werden.

Darüber hinaus ist es bei mittleren Quantenflüssen möglich, zusätzliche Informationen zu gewinnen, welche bei einer separaten Anwendung eines Zählverfahrens oder eines Integrationsverfahrens nicht verfügbar ist. Da der Integratorkanal 7 die absorbierte Energie und der Zählkanal 5 die Anzahl der absorbierten Röntgenquanten erfasst, kann durch eine

- 5 Kombination der beiden Signale zum Beispiel die mittlere Energie der absorbierten Quanten bestimmt werden. Diese stellt ein Maß für die im untersuchten Objekt eintretende Strahlauvhärtung dar, welches vorteilhaft zur Bestimmung und Unterscheidung der Gewebearten verwendet werden kann.

PATENTANSPRÜCHE

1. Röntgendetektor, enthaltend

- 5 a) mindestens eine Konversionseinheit (1) zur Absorption von Röntgenquanten unter Erzeugung eines zur absorbierten Energie korrespondierenden elektrischen Ladungssignals,
- 10 b) mindestens eine Auswerteeinheit (10) zur Verarbeitung des genannten Ladungssignals in einem Zählkanal (5), welcher an seinem Zählerausgang (8) ein Maß für die Anzahl der seit einem Messbeginn erfassten Ladungssignale bereitstellt, sowie parallel hierzu in einem Integratorkanal (7), welcher an seinem Integratorausgang (9) ein Maß für die gesamte Ladung der seit einem Messbeginn erfassten Ladungssignale bereitstellt,
- 15 c) mindestens eine Datenverarbeitungseinheit (11), welche die Signale des Zählerausganges (8) und des Integratorausganges (9) in Kombination verarbeitet, um die absorbierte Menge an Röntgenstrahlung zu bestimmen.

2. Röntgendetektor nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

- 20 dass die Datenverarbeitungseinheit (11) so eingerichtet ist, dass sie bei geringer Absorptionsrate der Röntgenquanten die Signale des Zählerausganges (8) mit größerem Gewicht berücksichtigt als die Signale des Integratorausganges (9).

3. Röntgendetektor nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Datenverarbeitungseinheit (11) so eingerichtet ist, dass sie bei hoher
Absorptionsrate der Röntgenquanten die Signale des Integratorausganges (9) mit größerem
5 Gewicht berücksichtigt als die Signale des Zählerausganges (8).
4. Röntgendetektor nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Datenverarbeitungseinheit (11) so eingerichtet ist, dass sie aus den Signalen des
10 Zählerausganges (8) und des Integratorausganges (9) die mittlere Energie der erfassten
Röntgenquanten bestimmt.
5. Röntgendetektor nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
15 dass die Auswerteeinheit (10) einen Eingangsverstärker (2) aufweist, welcher das von der
Konversionseinheit (1) bereitgestellte Ladungssignal vorverarbeitet, insbesondere verstärkt,
und welcher das so vorverarbeitete Signal an den Zählkanal (5) und den Integratorkanal (7)
weiterleitet.
- 20 6. Röntgendetektor nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass er mehrere Konversionseinheiten (1) enthält, welche in einer Fläche verteilt und
vorzugsweise matrixartig angeordnet sind.
- 25 7. Röntgendetektor nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass jeder Konversionseinheiten (1) eine Auswerteeinheit (10) und eine Daten-
verarbeitungseinheit (11) zugeordnet ist, wobei alle Auswerteeinheiten und Daten-
verarbeitungseinheiten mikroelektronisch auf einem gemeinsamen Substrat ausgebildet
30 sind.

8. Verfahren zur Auswertung der Absorptionssignale eines Röntgendetektors, welcher vorzugsweise in einem Computertomographen gegenüber einer Röntgenstrahlungsquelle angeordnet ist, enthaltend die folgenden Schritte:

- 5 a) Zählen der in einem Zeitintervall vom Röntgendetektor absorbierten Röntgenquanten;
- b) Integration der Absorptionsenergien der in dem genannten Zeitintervall absorbierten Röntgenquanten,
- 10 c) Bestimmung der mittleren Absorptionsenergie der in dem genannten Zeitintervall absorbierten Röntgenquanten aus den Messungen der Schritte a) und b),
- d) Vergleich der mittleren Absorptionsenergie aus Schritt c) mit dem ursprünglichen
- 15 Emissionsspektrum der Röntgenstrahlungsquelle.

9. Verfahren nach Anspruch 8,

dadurch gekennzeichnet,

dass es mit einem Röntgendetektor nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7

20 durchgeführt wird.

25

30

10. Röntgenuntersuchungsgerät mit einer Röntgenstrahlungsquelle zur Abgabe von Röntgenstrahlung und einem Röntgendetektor mit

- a) mindestens einer Konversionseinheit (1) zur Absorption von Röntgenquanten unter Erzeugung eines zur absorbierten Energie korrespondierenden elektrischen Ladungssignals,
5
- b) mindestens einer Auswerteeinheit (10) zur Verarbeitung des genannten Ladungssignals in einem Zählkanal (5), welcher an seinem Zählerausgang (8) ein Maß für die Anzahl der seit einem Messbeginn erfassten Ladungssignale bereitstellt, sowie parallel hierzu in einem Integratorkanal (7), welcher an seinem Integratorausgang (9) ein
10 Maß für die gesamte Ladung der seit einem Messbeginn erfassten Ladungssignale bereitstellt,
- c) mindestens einer Datenverarbeitungseinheit (11), welche die Signale des Zählerausganges (8) und des Integratorausganges (9) in Kombination verarbeitet, um die absorbierte Menge an Röntgenstrahlung zu bestimmen.

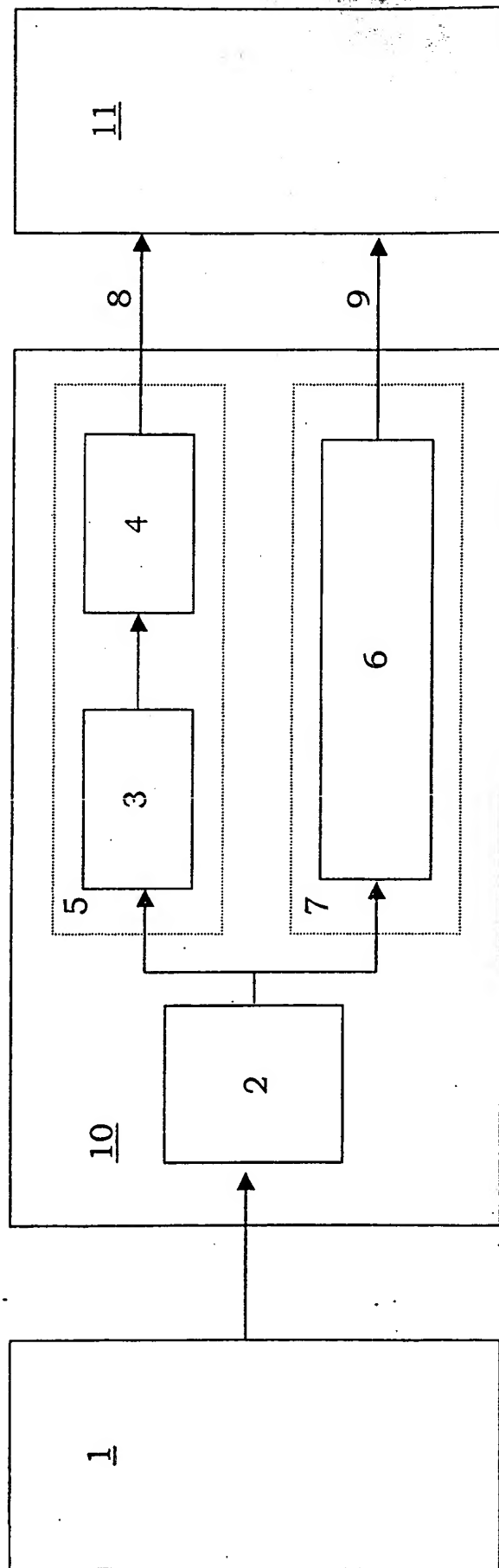


FIG.